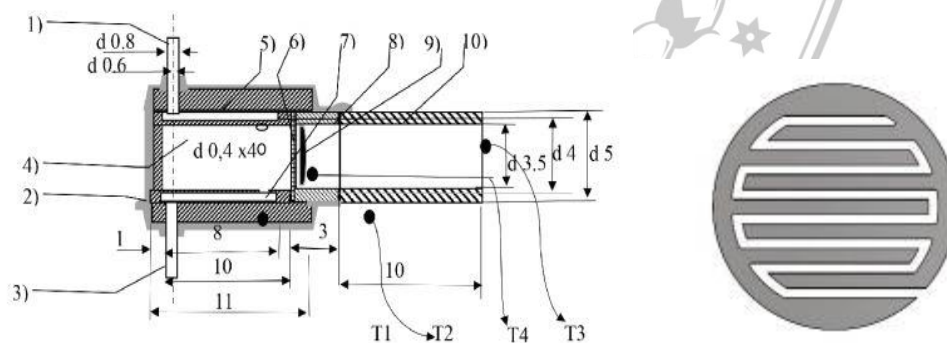


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Meso-scale Combustor dan Micro Power Generator

Meso/micro scale combustor merupakan bagian dari *micro power generator*, perbedaan keduanya hanya terletak pada dimensi ruang bakar. *Micro* memiliki ukuran dibawah 1 mm sedangkan meso memiliki dimensi 1 mm sampai 10 mm (Ju & Maruta, 2011). *Meso Thermoelectric* berfungsi mengubah energi panas menjadi energi listrik (W.M. Yang 2002). Manfaat yang diperoleh dari *micro power generator* yaitu sebagai salah satu energi alternatif dari ketergantungan baterai lithium yang mana memiliki banyak kekurangan yaitu kepadatan energinya rendah, umur baterai cukup singkat dan limbah yang berbahaya (Hery Soegiharto, Wardana, Yuliati, & Nur Sasongko, 2019). Adapun sketsa dan prototype yang pernah dibuat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Sketsa *Meso-scale Combustor* dan *Flame Holder*

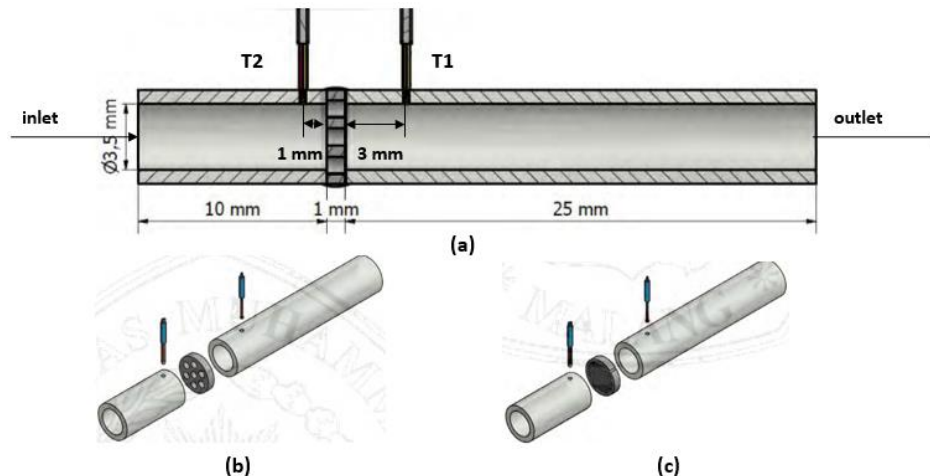
Sumber : Hery Soegiharto, et al

2.2 Hasil penelitian sebelumnya

Penelitian tentang pembakar skala meso dengan menggunakan bahan bakar gas telah banyak dilakukan. Penggunaan gas sebagai bahan bakar ditujukan untuk mempermudah bercampurnya bahan bakar dan udara. Akan tetapi kelebihan tersebut memberikan kekurangan disisi lain. Antara lain yaitu dari ketebalan *flame holder* yang berpengaruh terhadap stabilitas nyala api.

Penggunaan *flame holder* di dalam *meso-scale combustion* berfungsi sebagai meningkatkan heat *recirculation reactan* yang belum terbakar. Seperti yang telah dilakukan oleh Mahatma (2017). Penelitiannya bertujuan untuk menciptakan pembakar skala meso dengan memvariasikan beberapa jenis *flame holder* untuk membandingkan pembakaran mana yang lebih efisien.

Metode yang digunakan pada penelitian tersebut adalah melakukan pengamatan langsung terhadap obyek yang di teliti. Kemudian dilakukan pengolahan data hasil pengamatan yang kemudian dibandingkan dengan hasil hipotesis. Pembakar skala meso terbuat dari pipet kaca yang berdiameter dalam 3,5 mm, dengan panjang 25 mm sebagai hulu dan panjang 10 mm sebagai hilir. Disisipkan *flame holder perforate plate line 8* dan *Perforated plate hole* dengan bahan sama yaitu *stainless steel*. Diameter luar *Flame* 5 mm, dan ketebalan 1 mm. Gambar 2.1 menunjukkan sketsa pembakar skala meso yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 2.2 Sketsa mesoscale combustor bahan bakar gas.

(a) Meso-combustor, (b) Holes perforated plate, (c) Lines perforated plate
(Aryanamurti, 2017)

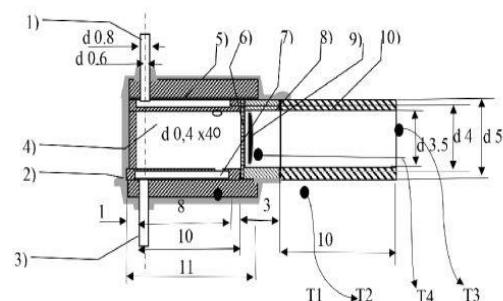
Butana digunakan sebagai bahan bakar, selanjutnya debit bahan bakar diatur oleh *fuel flowmeter*. Udara disuplai dari kompressor sebagai oksidator yang diatur oleh *air flowmeter*. Bahan bakar dan udara dicampur menjadi satu oleh pipa penghubung tipe Y dan disalurkan ke ruang pembakaran. Penggunaan *flame holder* dimaksudkan untuk menaikkan temperatur pada pembakar skala meso agar pembakaran dapat berlangsung stabil. Pengambilan data temperatur menggunakan *thermocouple type k* sedangkan visualisasi nyala api diambil melalui kamera.

Setelah melakukan pengolahan data hasil pengamatan yang berupa flammability limit dan visualisasi bentuk nyala api, didapatkan hasil penelitian. Dimana *flame holder lines* mampu meningkatkan *flammability limit*, dengan rasio ekuivalen ϕ 0,83 – 1,76 dan kecepatan aliran 17,01 cm/s – 72,93 cm/s. Nyala api di dalam combustor lebih stabil dengan menggunakan *flame holder lines perforated plate* karena aliran turbulensi pada daerah *outlet* berkurang. Visualisasi bentuk nyala api akan bertambah besar seiring dengan penambahan kecepatan aliran

U dan semakin tebal, biru muda, dan kecil dengan kenaikan rasio ekuivalen ϕ . (Aryanamurti, 2017)

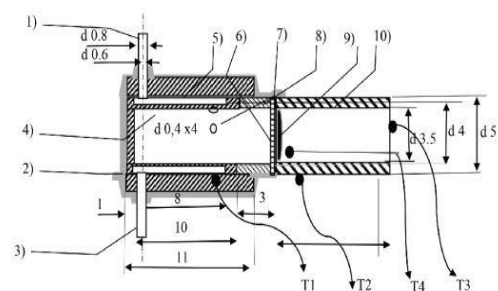
Penggunaan *flame holder* pada penelitian yang telah dilakukan oleh mahatma (2017) berpengaruh pada kestabilan nyala butana di dalam *meso-scale combustor*. *Flame holder* dapat menghambat reaktan yang belum mencapai titik temperatur pemanasan awal sebelum terbakar. Disisi lain bahan bakar gas dirasa kurang praktis jika diterapkan pada *micropower generator*, dikarenakan faktor keamanan dan penyimpananya.

Penggunaan *flame holder* dalam *micro* atau *meso-scale combustion* telah banyak diteliti. Seperti pada percobaan yang dilakukan pada tahun 2019 oleh Fauzan HS dan timnya. Adapun *combustor* digunakan dalam penelitian ini pipet kaca yang berbentuk silinder dengan berdiameter dalam 3,5 mm , 8 jumlah lubang pada *flame holder* dan penamabahan *recicurlator* panas berbahan *stainless-steel* dengan saluran anulus didindingnya. Di dalam penelitiannya heksana digunakan sebagai bahan bakar. Percobaan awal dilakukan agar menghasilkan pembakaran api yang stabil dalam tipe ini *meso-scale combustor*, dapat dilihat pada gambar 2.3.



The type A meso-combustor:

- 1 – fuel inlet, 2 – ceramic adhesive, 3 – air inlet, 4 – annulus channel, 5 – heat recirculator, 6 – flame holder, 7 – holes, 8 – the stainless steel insertion section, 9 – flame, outlet section

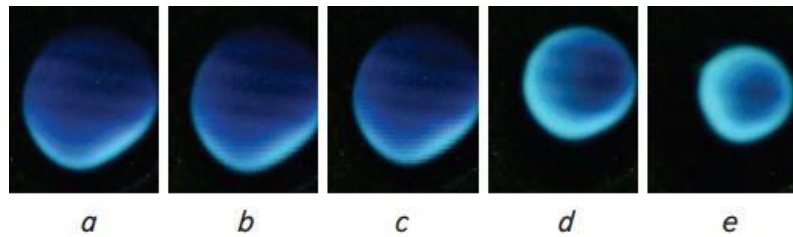


The type B meso-combustor:

- 1 – fuel inlet, 2 – ceramic adhesive, 3 – air inlet, 4 – annulus channel, 5 – heat recirculator, 6 – flame holder, 7 – holes, 8 – the stainless steel insertion section, 9 – flame, Outlet section

Gambar 2.3 Sketsa Type A & B *Meso-scale Combustor*

Sumber : Hery Soegiharto, et al, 2019



Gambar 2.4 Visualisasi nyala api pembakaran meso-scale combustor
a. 4 detik b. 6 detik c. 8 detik d. 10 detik e 12 detik

Sumber : Hery Soegiharto, et al, 2019

Pada awalnya api dinyalakan diluar ruang bakar, maka pembuangan udara dan bahan bakar yang ditetapkan kilas balik untuk membiarkan api merambat keruang bakar dan tetap stabil ada didekat api. Ketika api dihubungkan *flame holder*, api itu mereda dan akhirnya keluar. nyala api berlangsung selama 12 detik, mereda dan kemudian keluar. didetik berikutnya seperti ditunjukkan gambar 2.4. Pada percobaan kedua digunakan jenis *combustor* tipe B dengan pembakaran butana non premix yang hasilnya ditunjukkan pada gambar

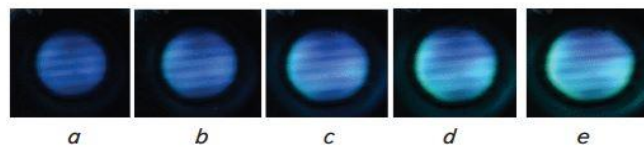


Fig. 17. Non-Premix Butane at flow velocity $U = 35$ cm/s:
 $a - \phi = 1.25$; $b - \phi = 1.33$; $c - \phi = 1.45$; $d - \phi = 1.55$;
 $e - \phi = 1.65$

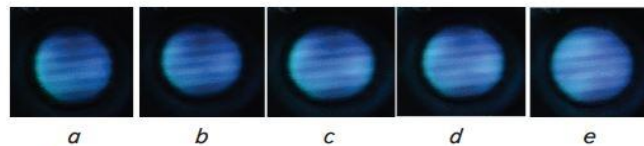


Fig. 18. Non Premix Butane at equivalence ratio $\phi = 1.4$:
 $a - U = 27$ cm/s; $b - U = 31$ cm/s; $c - U = 35$ cm/s;
 $d - U = 37$ cm/s; $e - U = 41$ cm/s

Gambar 2.5 Visualisasi nyala api pembakaran

Sumber : Hery Soegiharto, et al, 2019

Pembakaran gas butana non premix pada jenis B *meso-scale combustor* yang lebih tinggi daripada saat digunakan untuk pembakaran *premix* butana. Oleh karena itu, lebih baik menggunakan butana non premix ketika jenis B *mesoscale combustor* dipasangi di generator listrik micropower. Tipe B *meso-scale combustor* memiliki resirkulasi dengan ruang anulus dalam dinding yang terbukti dapat menstabilkan heksana, *meso-scale* harus dipasang dengan perangkat lain seperti bahan *thermophotovoltaic* untuk menghasilkan listrik. Hal ini menegaskan bahwa *recirculator* panas *stainless steel* berguna untuk bahan bakar cair. Nyala bahan bakar cair dapat stabil pada rasio kesetaraan 0,9 – 1,25 dan suhu sekitar 900 Celcius.

2.3 Flame Holder

Flame holder dalam penelitian menggunakan bahan yang terbuat dari duralumin. *Flame holder* tipe line 8 garis dipilih atas dasar penelitian yang telah dilakukan Mahatma (2017) dikarenakan *flame holder* tipe ini lebih stabil nyala apinya atau *flammability limit* lebih luas. *Flame holder* sendiri digunakan supaya meningkatkan laju perpindahan kalor dari dinding *combustor* agar bahan bakar yang masuk akan terpanasi terlebih dahulu. Namun *flame holder* juga dapat menjadi penghambat apabila nyala api yang terbentuk tidak bisa stabil di daerah *flame holder*. Hal ini disebabkan perubahan (fluktuasi) debit reaktan saat awal keadaan nyala api menyala hingga masuk ruang pembakaran (Mikami, 2013). Tujuan dari resirkulasi panas untuk memanaskan reaktan sebelum masuk ke dalam ruang pembakaran, sehingga *heat loss* menjadi berkurang dan keberlangsungan pembakaran dapat terjamin.

2.3.1 Flame Holder Lines Perforated



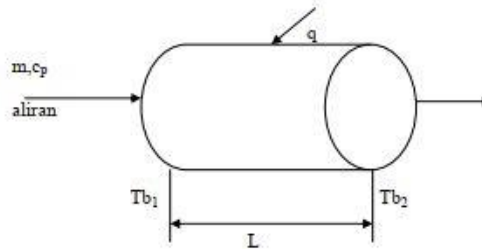
Gambar 2.6 Line Perforated Plate (skala 5x)

Flame Holder lines Perforated digunakan juga dalam penelitian Suprianto, H (2019), Soegiharto, H et al (2019) menjelaskan *Flame holder lines perforated* digunakan sebagai pembanding perlakuan. Dengan spesifikasi diameter 5 mm dengan ketebalan 1 mm, dan 8 garis berlubang, luasan sisi depan yang dihasilkan adalah $5,83 \text{ mm}^2$, dan luasan yang akan dilalui reaktan $36,2 \text{ mm}^2$. *Blockage ratio* yang dihasilkan meningkat dengan signifikan, mencapai 60,71%. Didalam penelitian ini saya mengvariasikan ketebalan *flame holder* dari 1 mm menjadi 1,5 mm dan 2 mm, yang mana luasan dan *Blockage ratio* yang dihasilkan akan berbeda. Harapannya dengan menggunakan tiga pembanding *flame holder* dapat meningkatkan *heat recirculation*, sehingga mampu menaikkan *flammability limit*.

2.4 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi diantara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya (Long, 2010). . Dalam penelitian ini terjadi proses konveksi dari permukaan panas recirculator kalor terhadap bahan bakar ketika bahan bakar melewati ruang anulus. Dari ruang anulus bahan bakar melapisi permukaan tersebut sehingga terlalu tipis dan permukaan tersebut menyerap kalor dan berubah menjadi uap. Semakin luas permukaan konveksinya

maka semakin besar konveksinya sehingga semakin besar juga kalor yang terserap, tetapi jika terlalu besar nilai konveksi akan mengurangi kerja pembakaran dikarenakan dapat mendinginkan nyala api.



Gambar 2.7 Perpindahan kalor secara konveksi

(Sumber : Long, C., & Sayma, N, 2010).

Berikut merupakan perpindahan rumus perpindahan panas yang terjadi pada dinding pembakar skala meso :

$$Q = -h A (T_2 - T_1) \quad 2-1$$

Ket :

- Q = Laju perpan (kj/det atau W)
- h = Koefisien perpan secara konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- A = Luas area Perpindahan Panas (ft^2 atau m^2)
- T = Temperatur ($^\circ C$, $^\circ K$)

2.5 Butane gass

Butane gass digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan bakar. *Butane gass* dipilih karena proses pembakaran lebih mudah dan cepat, karena tidak melalui proses penguapan (Ridho M. R, Hery Soegiharto A. F., & Mulyono, 2018). Rumus kimia dari butane gass adalah C_4H_{10} . Secara wujud butane gass tidak memiliki

warna , dan memiliki berat molekul sebesar 58,12 gram/mol. Adapun database dari butana yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

Senyawa kimia	: C_4H_{10}
Massa mol	: 58,12 g/mol
Ciri fisik	: tidak bewarna
Temperatur nyala	: - 60 °C
LHV	: 45,35 MJ/Kg
HHV	: 49,5 MJ/Kg

2.6 Duralumin

Duralumin merupakan sebuah paduan dari logam aluminium dengan logam-logam seperti tembaga, magnesium serta mangan. Duralumin merupakan paduan yang mengandung Aluminium lebih dari 90%, logam Tembaga 4-6%, Magnesium 0,5%, dan Mangan 0,5%. Dalam penelitian ini digunakan duralumin sebagai bahan dasar dari *flame holder*, diharapkan duralumin dapat memperluas daerah stabilitas nyala api. Adapun database dari Duralumin yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

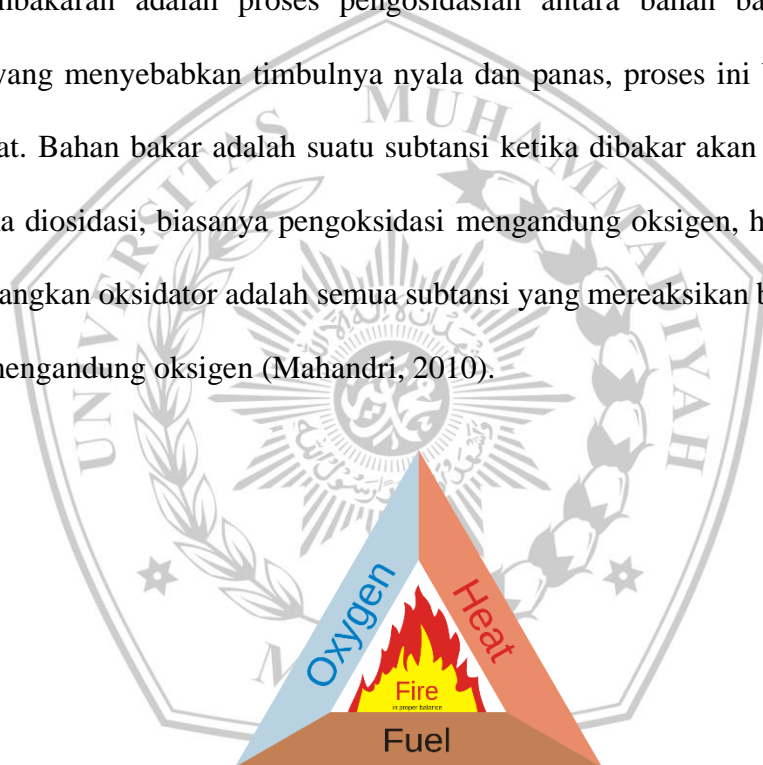
Tabel 2.1 Kandungan Duralumin

<i>Elements</i>	<i>Percents</i>
<i>Aluminium</i>	91 -95 %
<i>Tembaga</i>	3,8 – 4,9 %
<i>Mangan</i>	0,3 -0,9 %
<i>Magnesium</i>	1,2 – 1,8 %

<i>Besi</i>	< 0,5 %
<i>Silika</i>	< 0,5 %
<i>Seng</i>	< 0,25
<i>Titanium</i>	< 0,10 %
<i>Kromium</i>	< 0,10 %

2.7 Pembakaran

Pembakaran adalah proses pengosidasian antara bahan bakar dengan oksidator yang menyebabkan timbulnya nyala dan panas, proses ini berlangsung secara cepat. Bahan bakar adalah suatu substansi ketika dibakar akan melepaskan kalor ketika dioksidasi, biasanya pengoksidasi mengandung oksigen, hidrogen dan sulfur. Sedangkan oksidator adalah semua substansi yang mereaksikan bahan bakar, biasanya mengandung oksigen (Mahandri, 2010).



Gambar 2.8 Proses pembakaran

(Sumber : <https://www.pngdownload.id/png-3fdbq9/>)

Gambar 2.8 merupakan proses pembakaran dimana oksigen dan *fuel* berubah menjadi produk yang baru. Dalam proses pembakaran disuplai oleh pompa bahan bakar (*fuel*), di dalam penelitian ini kami menggunakan *butane* sebagai bahan bakar gas. Udara dalam proses pembakaran disuplai dari *kompresor* sedangkan nyala api

pertama disulut oleh *preheater* (pemanitik api). *Preheater* sendiri sebagai pendorong terjadinya pembakaran, ditunjukkan sebagai *heat* yang disebut juga sebagai *energy activator*. Pembakaran terjadi apabila terdapat bahan bakar (*fuel*) dan oksigen didalam ruang bakar, pada ruang pembakaran temperaturnya harus terpenuhi (temperature nyala api) sehingga dapat terjadi pembakaran. Dalam penelitian ini berdasarkan proses pencampuran antara bahan bakar dan udara dicampur secara *premixed*. Pembakarn *premixed* ditandai dengan proses pembakaran antara bahan bakar dengan oksidator bercampur secara sempurna di dalam ruang pembakaran dalam hal ini *recicurlato*(*Ridho M. R et al., 2018*)r. Namun pembakaran *premixed* memiliki kelemahan yaitu terjadi peristiwa api akan merambat ke dalam ruang pembakaran yang disebut sebagai peristiwa *flasback* (Siamullah, Sasongko, & Yuliati, 2013)

2.8 Air fuel ratio

Air fuel ratio adalah massa dari oksigen yang dibagi dengan massa dari bahan bakar didalam suatu reaksi pembakaran. *Air fuel ratio* berperan penting dalam membentuk nyala api dan gas sisa yang dibuang dalam suatu proses pembakaran(Milcarek & Ahn, 2019). Adapaun persamaan AFR stoik dapat ditulis dalam rumus yaitu :

$$AFR_{stoic} = \left(\frac{N_{air}}{N_{fuel}} \right)_{stoic} \quad 2-2$$

$$AFR_{stoic} = \left(\frac{M_{air}}{M_{fuel}} \right)_{stoic} \quad 2-3$$

(K.Kuo, 2005)

Keterangan :

AFR_{stoic} : Perbandingan *air* (udara) dan *fuel* (bahan bakar) pada saat kondisi stokiometri

N_{air} : Jumlah dari *air* (udara)

N_{fuel} : Jumlah *fuel* (bahan bakar)

M_{air} : Massa *air* (udara)

M_{fuel} : massa *fuel* (bahan bakar)

Dari persamaan yang diperoleh 2-2 diatas, kita bisa menghitung AFR butana pada kondisi stokiometrinya dapat ditulis sebagaimana berikut :

Diketahui :

- Reaksi pembakaran *butane gass*



- Jumlah massa dari atom relatif (AR):
C = 12, H = 1, O = 16, N = 14
- Rumus persamaan stoikiometri *butane* berdasarkan jumlah massa

$$AFR_{stoik} = \frac{(6,5 \times 16 \times 2) + (6,5 \times 3,76 \times 14 \times 2)}{(12 \times 4) + (10 \times 1)} = \frac{892,320}{58}$$

$$AFR_{stoik} = 15,38 \frac{gr \text{ air}}{gr \text{ fuel}}$$

2.9 Ratio Ekuivalen

Ratio ekuivalen merupakan pembagian antara $AFR_{stoikiometri}$ dengan AFR_{aktual} . *Ratio Ekuivalen* umumnya digunakan untuk menentukan banyaknya campuran aliran bahan bakar termasuk dalam kategori kaya, miskin atau kondisi stoikiometri (Turns, 2000). Persamaan dapat ditulis seperti dibawah ini :

$$\text{Rasio ekuivalen} = \frac{AFR_{stoik}}{AFR_{aktual}} \quad 2-4$$

Rasio ekuivalen berfungsi untuk menentukan campuran aliran bahan bakar dan udara yang terjadi pada reaksi pembakaran. Jenis campuran reaktan ditentukan berdasarkan nilai pada rasio ekuivalen, sebagai berikut :

- Apabila nilai $\phi < 1$, dapat dinyatakan campuran reaktan berada pada area miskin bahan bakar, kondisi tersebut ditandai dengan jumlah oksigen yang melimpah menyebabkan bahan bakar sulit untuk bereaksi
- Apabila nilai $\phi = 0$, dapat dinyatakan campuran reaktan berada pada kondisi stoikiometri, dimana jumlah bahan bakar dan aliran udara berada pada komposisi yang tepat untuk bereaksi.
- Apabila nilai $\phi > 1$, dapat dinyatakan campuran reaktan berada pada area kaya bahan bakar, dimana bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen jumlah hasil pembakarannya melimpah.